

2007P10588D

# BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND



## Prioritätsbescheinigung über die Einreichung einer Patentanmeldung

**Aktenzeichen:** 101 28 961.8

**Anmeldetag:** 15. Juni 2001

**Anmelder/Inhaber:** Siemens Aktiengesellschaft, 80333 München/DE

**Bezeichnung:** Verfahren zur zerstörungsfreien Prüfung  
einer Nickel- oder Kobalt-Basislegierung

**IPC:** G 01 N 27/90

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 23. Januar 2006  
Deutsches Patent- und Markenamt  
Der Präsident  
Im Auftrag

BEST AVAILABLE COPY

CERTIFIED COPY OF  
PRIORITY DOCUMENT

Wallner

## Beschreibung

Verfahren zur zerstörungsfreien Prüfung einer Nickel- oder Kobalt-Basislegierung

5

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur zerstörungsfreien Prüfung einer Nickel- oder Kobalt-Basislegierung. Die Erfindung betrifft auch ein Verfahren zur zerstörungsfreien Prüfung einer Gasturbinenschaufel aus einer Nickel- oder Kobalt-Basislegierung.

10

In dem Buch von H. Blumenauer "Werkstoffprüfung", 5. Aufl., VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, Leipzig 1989, ist die zerstörungsfreie Werkstoffprüfung mit dem Wirbelstromverfahren beschrieben. Es beruht darauf, dass das elektromagnetische Wechselfeld einer von Wechselstrom durchflossenen Spule verändert wird, wenn eine metallische Probe in ihren Wirkungsbereich gebracht wird. Durch das Primärfeld der Spule wird in der zu untersuchenden Probe eine Wechselspannung induziert, die ihrerseits einen Wechselstrom erzeugt, der seinerseits wiederum ein magnetisches Wechselfeld erzeugt. Dieses sekundäre Wechselfeld wirkt charakteristischerweise dem Primärfeld entgegen und verändert somit seine Parameter. Die Veränderung läßt sich messtechnisch erfassen. Dazu wird beispielsweise bei Spulen mit Primär- und Sekundärwicklung die Sekundärspannung gemessen (transformatorisches Prinzip). Oder es wird, beispielsweise bei Spulen mit nur einer Wicklung, deren Scheinwiderstand ermittelt (parametrisches Prinzip). Gemäß der in einem Wechselstromkreis geltenden Gesetze wird durch die Induktion in der Spule und in der Probe bei der parametrischen Anordnung außer dem Ohm'schen Widerstand noch ein induktiver Widerstand erzeugt und bei der transformatorischen Anordnung außer der realen Messspannung noch eine imaginäre Messspannung erzeugt. Beide Anteile werden in komplexer Form in der Scheinwiderstandsebene bzw. der komplexen Spannungsebene dargestellt. In diesen beiden Beispielen macht sich die zerstörungsfreie Werkstoffprüfung den Ef-

15

20

25

30

35

fekt zu Nutze, dass die Veränderungen des Primärfeldes von den physikalischen und geometrischen Probeneigenschaften sowie den Geräteeigenschaften abhängen. Geräteeigenschaften sind u.a. die Frequenz, die Stromstärke, die Spannung und die Windungszahl der Spule. Probeneigenschaften sind u.a. elektrische Leitfähigkeit, Permeabilität, Probenform sowie Werkstoffinhomogenitäten im Bereich der Wirbelströme. Neuere Geräte zur induktiven Prüfung erlauben Messungen bei mehreren Anregungsfrequenzen. Dazu kann beispielsweise die Frequenz während einer Messung automatisch verändert werden, oder die Frequenz wird vom Benutzer während zweier Messungen manuell verstellt. Die Frequenz hat einen wesentlichen Einfluß auf die Eindringtiefe der Wirbelströme. Es gilt näherungsweise:

$$\delta = \frac{503}{\sqrt{f \cdot \sigma \cdot \mu_r}}$$

$\delta$  [mm] Eindringtiefe,

$f$  [Hz] Frequenz,

$\sigma$  [MS/m = m/( $\Omega$ mm<sup>2</sup>)] spezifische Leitfähigkeit,

$\mu_r$  relative Permeabilität.

Die Standardeindringtiefe verringert sich mit wachsender Frequenz.

In dem Artikel "Non-Destructive Testing of Corrosion Effect on High Temperature Protective Coatings" von G. Dibelius, H.J. Krischel und U. Reimann, VGB Kraftwerkstechnik 70 (1990), Nr. 9, ist eine zerstörungsfreie Prüfung von Korrosionsprozessen in Schutzschichten von Gasturbinenschaufeln beschrieben. Eine Messmethode bei Nickel-basierten Schutzschichten ist die Messung der magnetischen Permeabilität aufgrund eines sich im Korrosionsprozess ändernden Ferromagnetismus in der Schutzschicht. Für den Fall eines Platin-Aluminium-Schutzschichtsystems wird die Möglichkeit der Wirbelstrommessung diskutiert. Aufgrund der gemessenen Signalhöhen

kann auf eine Schichtdicke der Schutzschicht geschlossen werden.

Nickel- und Kobalt-Basislegierungen neigen unter bestimmten Umgebungsbedingungen zur Ausbildung einer Korrosionsform, die Hochtemperatur-Korrosion (HTK) genannt wird. Aus werkstofftechnischer Sicht ist HTK eine an den Korngrenzen verlaufende, komplexe Sulfidation des Grundwerkstoffs. Mit fortschreitender HTK werden tragende Querschnitte von Bauteilen geschwächt. Die Kenntnis der Tiefe des HTK-Angriffs ist wichtig, um die Betriebssicherheit und Restlebensdauer eines Bauteils abschätzen zu können, und um zu entscheiden, ob eine Aufarbeitung (z.B. Refurbishment von Gasturbinenschaufeln) möglich ist.

Aufgabe der Erfindung ist die Angabe eines Verfahrens zur zerstörungsfreien Prüfung einer Nickel- oder Kobalt-Basislegierung, bei dem oberflächennahe sulfidierte Korrosionsbereiche ermittelt werden können. Weitere Aufgabe der Erfindung ist die Angabe eines Verfahrens zur zerstörungsfreien Prüfung einer Gasturbinenschaufel aus einer Nickel- oder Kobalt-Basislegierung.

Die auf ein Verfahren zur zerstörungsfreien Prüfung einer Nickel- oder Kobalt-Basislegierung gerichtete Aufgabe wird erfindungsgemäß gelöst durch ein Verfahren gemäß Patentanspruch 1.

Es hat sich überraschenderweise herausgestellt, dass die Korrosionsbereiche von sulfidiertem Grundwerkstoff mit hinreichender Genauigkeit über eine Wirbelstrommessung nachgewiesen werden können. Eine solche Wirbelstrommessung beruht, wie oben ausgeführt, insbesondere auf der vom Grundmaterial verschiedenen elektrischen Leitfähigkeit innerhalb der Korrosionsbereiche. Versuche konnten weiterhin belegen, dass die Empfindlichkeit des Verfahrens sogar ausreicht, eine Bestimmung der Tiefe der vorliegenden korrodierten Schichten zu be-

stimmen. Dazu sind Wirbelstrommessungen bei unterschiedlichen Anregungsfrequenzen nötig. Bei geeignet tiefen Frequenzen ist die Wirbelstromausbreitung in der korrodierten Schicht zu vernachlässigen, so dass die Messung nur durch die Eigenschaften des Grundwerkstoffes bestimmt wird. In einem Übergangsbereich wird die Änderung des Primärfeldes durch die Wirbelströme sowohl im ungestörten Grundwerkstoff als auch in der korrodierten Schicht bedingt. Ab einer gewissen Frequenzhöhe breitet sich das Wirbelstromfeld nur in der korrodierten Schicht aus. Es tritt demzufolge ein definierter Übergang in der Messgröße (z.B. Leitfähigkeit oder Permeabilität) als Funktion der Anregungsfrequenz auf. Durch Korrelation der Frequenz, bei welcher der Einfluß der korrodierten Schicht überwiegt, mit der Eindringtiefe des Wirbelstromfeldes läßt sich die Dicke der korrodierten Schicht bestimmen.



Erfindungsgemäß wird die auf ein Verfahren zur zerstörungsfreien Prüfung einer Gasturbinenschaufel gerichtete Aufgabe gelöst durch ein Verfahren gemäß Patentanspruch 2.

Gerade bei einer Gasturbinenschaufel kommt es aufgrund der sowohl hohen thermischen als auch mechanischen Belastungen in besonderem Maße auf ein fehlerfreies Gefüge des Grundwerkstoffes an. Gerade in diesem Bereich ist also eine Qualitätsüberprüfung hinsichtlich korrodierter Bereiche von großem Wert.

Die Zusammensetzung der Grundkörper-Superlegierung ist bevorzugt wie folgt (Angaben in Gewichtsprozenten):

24% Chrom, 10% Nickel, 7% Wolfram, 3,5% Tantal, 0,2% Titan, 0,5% Zirkon, 0,6% Kohlenstoff und der Rest Kobalt. Diese Legierung wird auch unter dem Handelsnamen MAR-M 509 geführt.

Die Erfindung wird anhand der Zeichnung beispielhaft näher erläutert. Die einzige Figur zeigt teilweise schematisch und nicht maßstäblich ein Verfahren zur zerstörungsfreien Prüfung

einer Gasturbinenschaufel 1 mittels eines Wirbelstromprüfverfahrens. Die Gasturbinenschaufel 1 weist einen Grundkörper 5 auf. Der Grundkörper 5 weist eine Oberfläche 3 auf. Auf der Oberfläche 3 ist in einem Teilbereich eine Schutzschicht 7 aufgebracht, welche der Vollständigkeit halber in Figur 1 aufgenommen wurde, obwohl das Aufbringen dieser Schutzschicht 7 erst nach einer erfolgten Wirbelstromprüfung durchgeführt wird. In der Oberfläche 3 ist durch Hochtemperaturkorrosion ein Korrosionsbereich 9 von sulfidiertem Grundmaterial entstanden. Dies führt dazu, dass die Festigkeit des Grundkörpermaterials in diesem Bereich herabgesetzt ist. Weiterhin hat dies zur Folge, dass die Haftung der Schutzschicht 7 auf dem Grundkörper 5 erheblich beeinträchtigt wird. Um bereits vor dem aufwendigen Reinigungs- und Beschichtungsprozess störende Korrosionsbereiche 9 zu ermitteln, wird ein Wirbelstrommessverfahren angewandt. Hierzu wird eine Wirbelstromsonde 11 über die Oberfläche 3 geführt. Auf einem flexiblen Kunststoffträger 15 sind elektrische Spulen 13 angeordnet, durch die mittels eines Wechselstroms durch die Spulen 13 ein magnetisches Feld erzeugt wird. Dieses induziert in der Oberfläche 3 elektrische Ströme, die wiederum über ihr Magnetfeld in die Spulen 13 zurückkoppeln. Dies wird als Signal 19 in einer Auswerteeinheit 17 sichtbar, die mit der Wirbelstromsonde 11 verbunden ist. Abhängig insbesondere von der elektrischen Leitfähigkeit, aber auch von der magnetischen Permeabilität des Materials im Bereich der Wirbelstromsonde 11 ergibt sich ein unterschiedlich starkes Signal 19. Durch eine unterschiedliche elektrische Leitfähigkeit und magnetische Suszeptibilität in dem Oxidbereich 9 ist dieser mittels der Wirbelstromsonde 11 detektierbar. Darüber hinaus kann durch eine Frequenzveränderung im Wechselfeld der Wirbelstromsonde 11 eine Tiefenbestimmung für den Korrosionsbereich 9 durchgeführt werden. Somit ist es erstmals möglich, zerstörungsfrei Korrosionsbereiche 9 nachzuweisen. Dies hat insbesondere erhebliche Kostenvorteile als Konsequenz, da die Schaufeln bereits vor einem aufwendigen Reinigungs- und Beschichtungsprozess sauber geschliffen bzw. ausgesondert werden können.

Patentansprüche

1. Verfahren zur zerstörungsfreien Prüfung einer Nickel- oder Kobalt-Basislegierung, bei dem mittels einer Wirbelstrommessung oberflächennahe sulfidierte Korrosionsbereiche (9) ermittelt werden.

2. Verfahren zur zerstörungsfreien Prüfung einer Gasturbinenschaufel (1) aus einer Nickel- oder Kobalt-Basislegierung, bei dem mittels einer Wirbelstrommessung oberflächennahe sulfidierte Korrosionsbereiche (9) ermittelt werden.

Zusammenfassung

Verfahren zur zerstörungsfreien Prüfung einer Nickel- oder Kobalt-Basislegierung

5

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur zerstörungsfreien Prüfung einer Nickel- oder Kobalt-Basislegierung, bei dem mittels einer Wirbelstrommessung oberflächennahe sulfidierte Korrosionsbereiche (9) ermittelt werden. Hierdurch kann insbesondere bereits vor einem aufwendigen Reinigungs- und Beschichtungsprozess der Gasturbinenschaufel ein Abschleifen bzw. Aussondern der Schaufeln erfolgen.

10

FIG 1



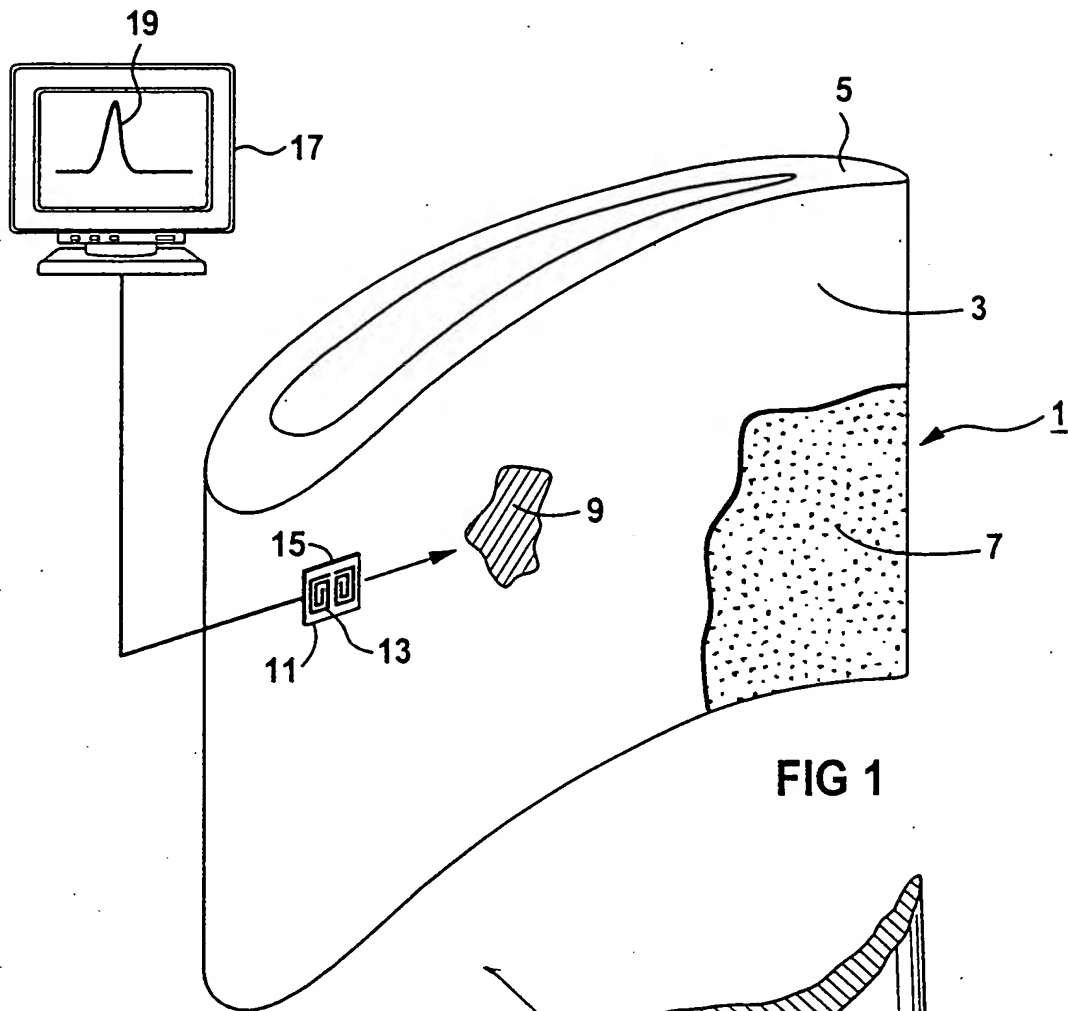


FIG 1

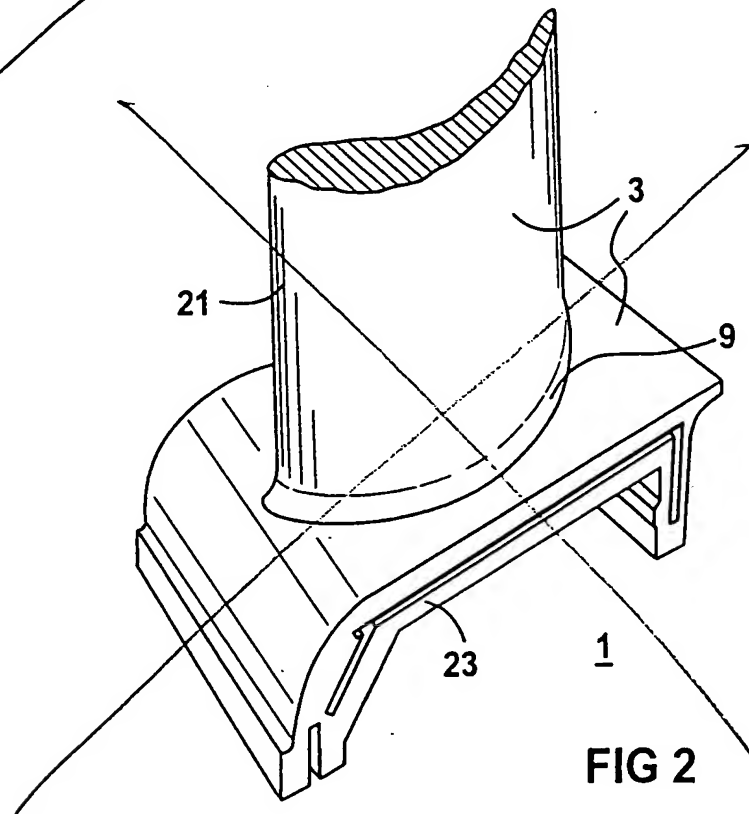


FIG 2